

О. М. Маковейчук

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ МОЗАІЧНИХ СТОХАСТИЧНИХ МАРКЕРІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Анотація. Предметом вивчення в статті є метод виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. **Метою** є розробка методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. **Завдання:** аналіз існуючих маркерів доповненої реальності, розробка методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності, практична перевірка роботи методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. Використовуваними **методами** є: методи цифрової обробки зображень, теорії ймовірності, математичної статистики, криптографії та захисту інформації, математичний апарат теорії матриць. Отримані такі **результати**. Визначені переваги та недоліки основних існуючих типів маркерів доповненої реальності. Наведена структурна схема методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. Розглянуто етапи методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. Проведені експериментальні дослідження щодо виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. **Висновки.** Вперше отримано метод виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, який на підставі бінаризації локальної дисперсії детектує область маркера на вихідному зображенні та знаходить маски біт-контейнерів шляхом сегментування та подальшої морфологічної фільтрації маскованої області зображення. Напрямками подальших досліджень є розробка методу визначення параметрів проективного перетворення, що необхідно для вирівнювання зображення і визначення положення камери; розробка методу декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності.

Ключові слова: мозаїчний стохастичний маркер; код; доповнена реальність; зображення-контейнер; сегментація; зображення; морфологічна фільтрація.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. У теперішній час інформаційні технології доповненої реальності використовуються у багатьох областях: ігрова індустрія, медицина, освіта, військова сфера, виробництво і транспорт, кіно і телебачення, онлайн-трансляції, підготовка та навчання співробітників, маркетинг і реклама, роздріб/онлайн-комерція і торгівля нерухомістю тощо [1]-[3]. Відомо що доповнена реальність, що базується на візуальних маркерах, передбачає використання камери та спеціальні пасивні візуальні маркери, наприклад QR-код (quick response code – код швидкого відгуку) [3, 4]. В якості маркерів можуть також використовуватися зображення об'єктів реального світу. Детектуючі маркери у відеопотоці, вдається вирізнити віртуальні об'єкти з реального світу. При цьому суттєвим є визначення положення та орієнтації камери, яке визначається засобами комп'ютерного бачення [5, 6].

Мета статті – розробка методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні існуючі типи AR-маркерів наведені в [3, 4, 7, 8]:

– шаблонні (template markers) – чорно-білі маркери, які мають просте зображення всередині чорної рамки;

– 2D штрих-кодові (barcode markers) – маркери, що складаються з чорно-білих клітинок, які побітово кодують дані, і, іноді, рамки або області синхронізації. Найчастіше в якості штрих-кодових AR-маркерів використовують QR-коди;

– кругові (circular markers) – аналогічно до штрих-кодових маркерів, тільки біти кодуються не прямокутними клітинками, а чорно-білими круговими секторами;

– зображення (image markers) – в якості маркерів використовуються звичайні кольорові зображення.

Можуть містити рамку або інші орієнтири для виявлення та знаходження положення. Маркери зображення зазвичай ідентифікуються за допомогою пошуку по шаблону або по особливостях зображення.

В [9] запропонований новий тип мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності, вид якого наведений на рис. 1.

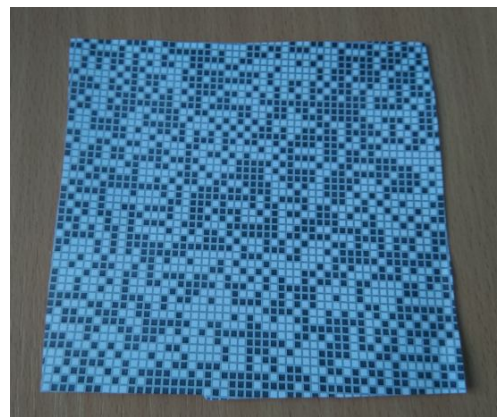


Рис. 1. Мозаїчний стохастичний маркер доповненої реальності

Отже, розробимо метод виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності.

Основна частина

Структурна схема методу виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності представлена на рис. 2. Попередня обробка вхідного зображення (рис. 1) включає в себе перехід від кольорового до зображення у градаціях сірого.

Формально це можна записати у вигляді (1):

$$g = \frac{1}{255}(0,2989R + 0,5870G + 0,1140B), \quad (1)$$

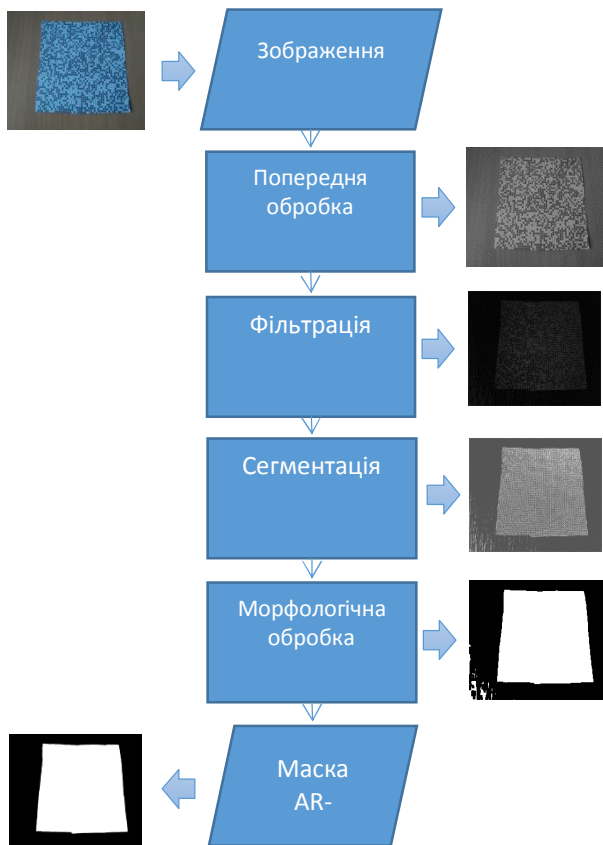


Рис.2. Структурна схема методу виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності

де R, G, B – відповідні кольорові компоненти вихідного зображення у RGB-представленні; g – зображення у градаціях сірого; коефіцієнти перетворення співпадають з коефіцієнтами для Y-каналу (яскравості) при переході від RGB до NTSC-представлення; коефіцієнт 1/255 вводиться для зручності – для нормування динамічного діапазону яскравості від 0..255 до 0..1. Зображення у градаціях сірого наведено на рис. 3.

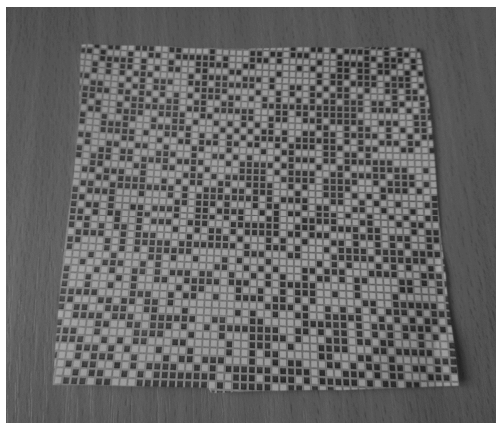


Рис. 3. Зображення у градаціях сірого

Враховуючи, що AR-маркер містить тільки 3 значення градації сірого {0, 1/2, 1}, пропонується для його детектування на зображенні f (рис. 3) використовувати операцію знаходження локального стандартного відхилення по квадратній області. На границі між клітинками AR-маркера локальне стандартне відхилення буде максимальним і малим для

гладких областей зображення. Оскільки всі координати на зображеннях задаються цілими числами, то розмір області зручно (для симетрії) вибирати непарним числом.

На рис. 4 представлено зображення σ , яке є результатом обчислення локального стандартного відхилення по області розміром (3x3).

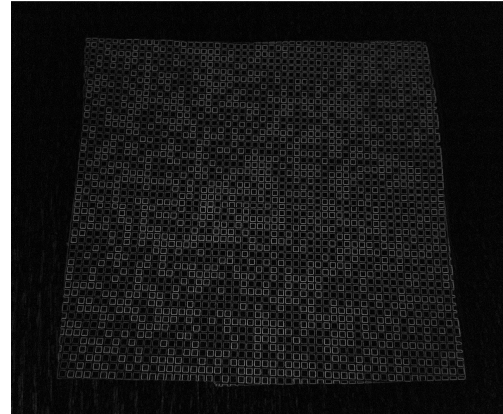


Рис. 4. Зображення локального стандартного відхилення

Для квадратної області розміром $(2a+1) \times (2a+1)$ з центром у точці з координатами (x,y) маємо:

$$\sigma(x,y) = (2a+1)^{-2} \times \sum_{m=-a}^a \sum_{n=-a}^a (f(x+m,y+n) - \mu(x,y))^2, \quad (2)$$

де $\mu(x,y)$ – локальне середнє, що розраховується за виразом (3):

$$\mu(x,y) = \frac{1}{(2a+1)^2} \sum_{m=-a}^a \sum_{n=-a}^a f(x+m,y+n), \quad (3)$$

Наступним кроком необхідно бінаризувати зображення (рис. 4). Оскільки гістограма зображення локального стандартного відхилення є унімодальною у загальному випадку (рис. 5), то стандартна бінаризація по Отсу, що добре працює для бімодальних розподілів, у даному випадку буде давати завищений поріг, що призведе до втрати частини корисної інформації (рис. 6).

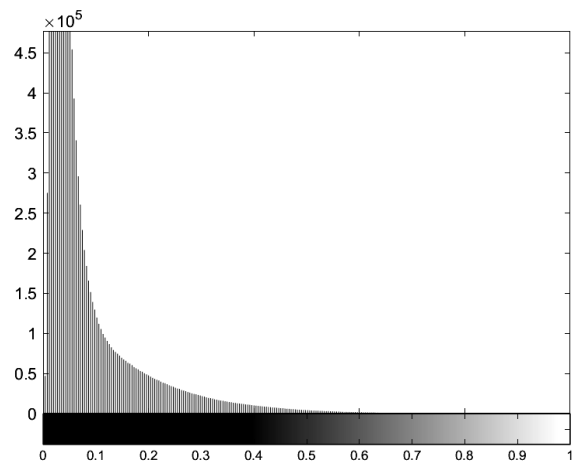


Рис. 5. Гістограма зображення локального стандартного відхилення

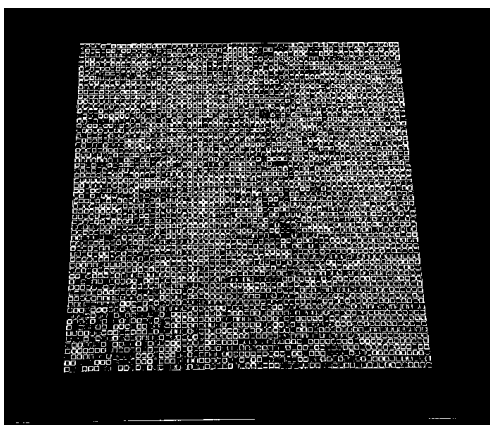


Рис. 6. Результат бінаризації по Отсу, частина інформації втрачена

Бінаризацію будемо проводити за допомогою сегментації методом K -середніх. Найпростішим способом є сегментація на $K=2$ класи (фон, об'єкт), але у даному випадку це дасть результати, близькі до бінаризації по Отсу. Тому пропонується використовувати $K = 3$ класи – фон, проміжні значення, об'єкт (рис. 7).

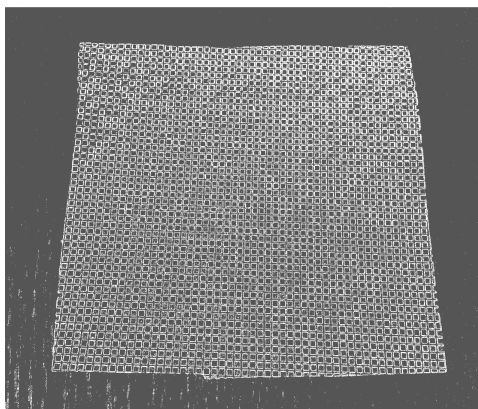


Рис. 7. Індексне зображення – результат сегментації на 3 класи

Тоді бінарне зображення отримується як об'єднання масок класів, що не належать фону. Фон визначається як клас який має найменше середнє значення яскравості. Оскільки фон займає найбільшу площу, то він визначається найкраще. Збільшення числа класів $K > 3$ суттєво не змінює результати і є недоцільним. Результат бінаризації запропонованим методом представлені на рис. 8.

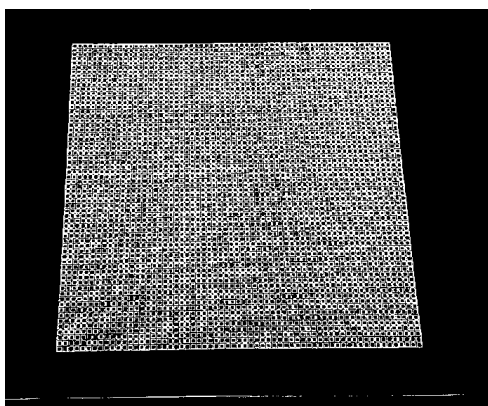
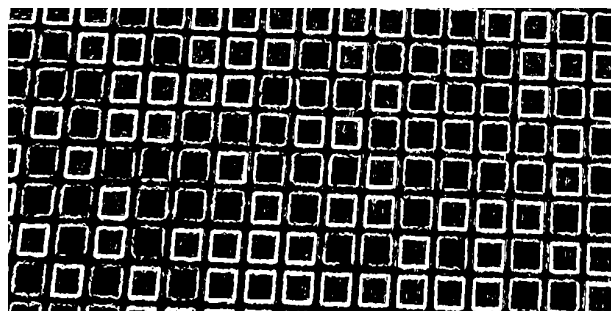
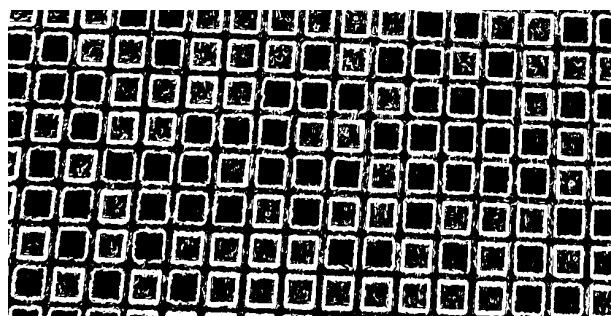


Рис. 8. Результат бінаризації запропонованим методом

Для порівняння результатів на рис. 9 показані фрагменти бінарних масок, отриманих методом Отсу і запропонованим методом. Можна бачити, що запропонований метод дає суттєво кращі результати – всі контури клітинок добре виділяються.



а



б

Рис. 9. Порівняння результатів бінаризації: а – методом Отсу, частина контурів відсутня; б – запропонованим методом, всі контури в наявності

Отримане бінарне зображення обробляється за допомогою операцій математичної морфології. Для заповнення внутрішніх областей пропонується використовувати операцію морфологічного замикання з квадратним вікном, при цьому розмір вікна задає максимальний розмір порожнин, які будуть заповнені. У даній роботі запропоновано використовувати вікно (63×63) , результати показані на рис. 10.

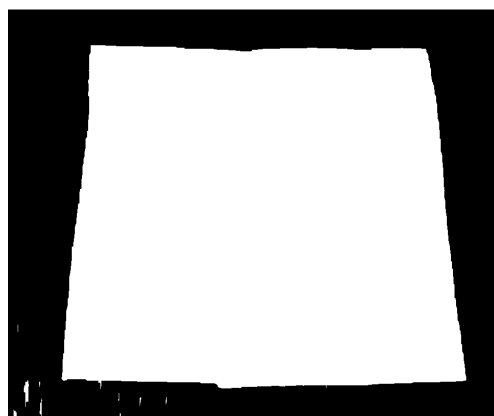


Рис. 10. Результат заповнення внутрішніх областей

Наступним кроком знаходиться найбільша по площі 4-зв'язна область (рис. 11). Надалі є сенс відкинути неінформативні області зображення і в якості області AR-маркера брати прямокутний фрагмент, в який вписана його маска (рис. 12). Всі подальші

операції будуть проводитися тільки для частини зображення, що виділяється цією маскою (рис. 13).

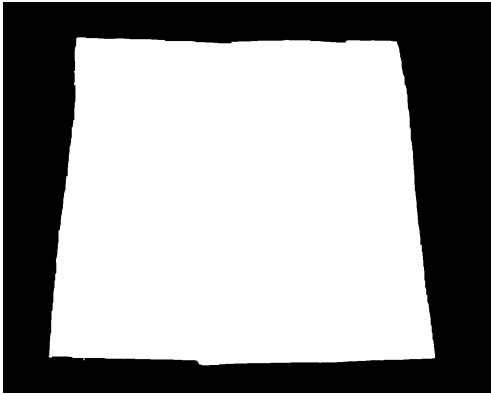


Рис. 11. Найбільша зв'язна область

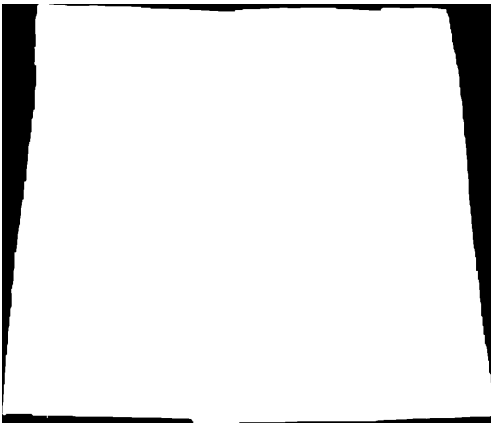


Рис. 12. Маска AR-маркера

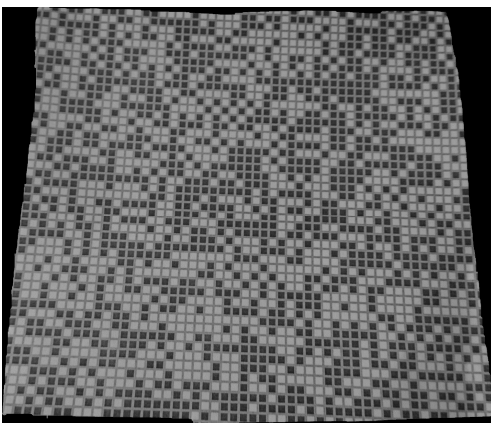


Рис. 13. Зображення AR-маркера

Для визначення біт-контейнерів – інформаційних елементів-клітинок, колір яких кодує інформаційні біти, пропонується аналогічно до визначення області AR-маркера використовувати сегментацію зображення AR-маркера на $K=3$ класи за допомогою алгоритму K -середніх. Результат сегментації представлено на рис. 14.

Слід зауважити, що алгоритм K -середніх призначає індекси класів довільним чином і для отримання картинки, що виглядає більш подібно до вихідного зображення, отримані індекси слід впорядкувати по зростанню середнього значення яскравості кожного класу. Результат такого впорядкування

представлено на рис. 15, у цьому випадку темні клітинки (що кодують біт 0) будуть належати класу із мінімальним значенням індексу, що є рівним 1, сірі (граніця) – класу із індексом 2, білі (що кодують біт 1) – класу із індексом рівним 3.

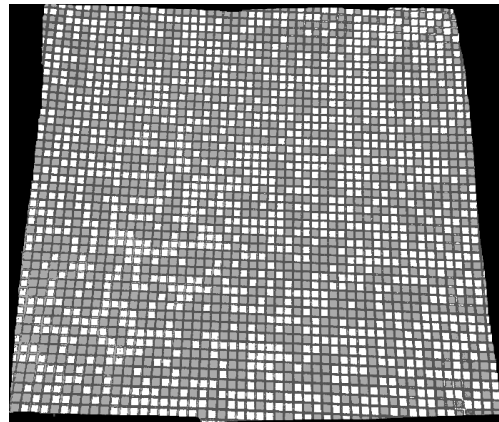


Рис. 14. Індексне зображення сегментації AR-маркера

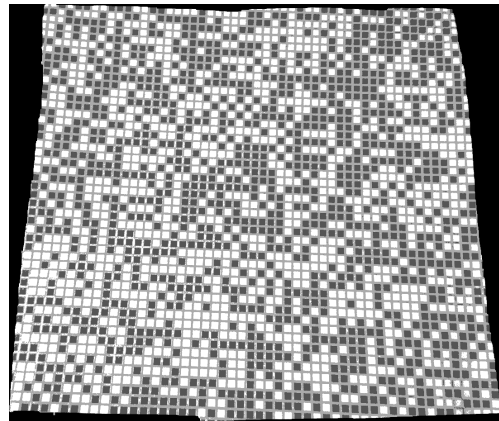


Рис. 15. Результат впорядкування індексів класів (пор. з рис. 13)

Маючи правильно впорядковані індекси класів, можемо виділити маски клітинок, що відповідають кожному біту. Біт 0 кодується чорним кольором, йому буде відповідати клас з найменшим індексом, що рівний 1 (рис.16). Біт 1 кодується білим кольором, йому буде відповідати клас з найбільшим індексом, що рівний 3 (рис. 17).

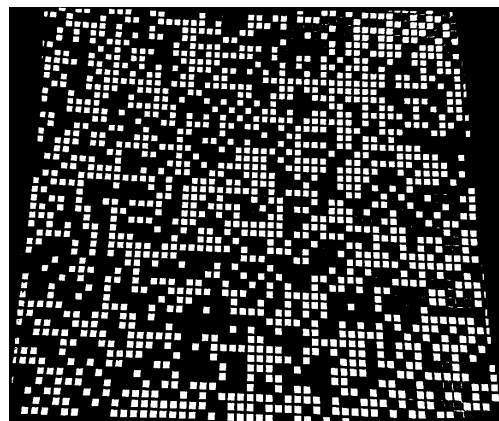


Рис. 16. Маска для клітинок з індексом 1 (біт 0)

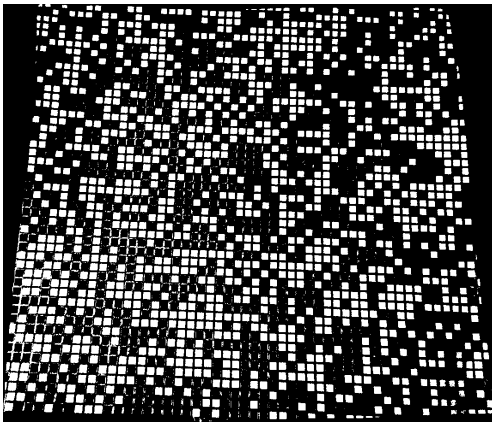


Рис. 17. Маска для клітинок з індексом 3 (біт 1)

Наступним кроком є фільтрація масок біт-контейнерів, що ефективно виконується за допомогою операції морфологічного розмикання по квадратному вікні. Певною проблемою є вибір розміру вікна, такого, щоб максимально відфільтрувались артефакти і при цьому не видалялись інформаційні елементи.

Для вибору оптимального розміру вікна пропонується наступне. Порахуємо кількість $N(a)$ 4-зв'язних областей на бінарному зображенні, що залишилися після операції морфологічного розмикання, як функцію розміру вікна фільтрації a (рис. 18).

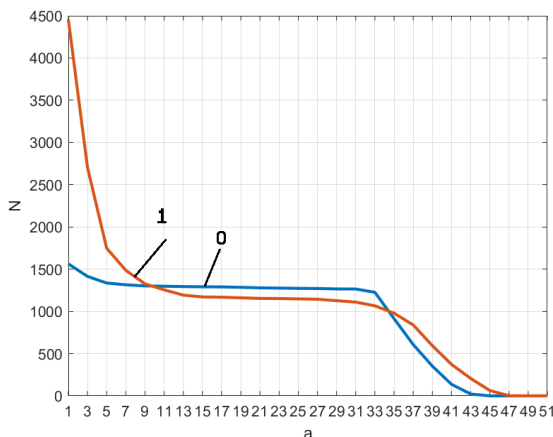


Рис. 18. Функція $N(a)$, порашована для кожної маски біт-контейнера

Функція $N(a)$ спочатку спадає, оскільки із зростанням розміру вікна відфільтровується все більше областей, далі для певного діапазону розмірів виходимо на плато – кількість областей залишається незмінною, оскільки розмір вікна є меншим за типовий розмір клітинки. При подальшому збільшенні розміру вікна функція $N(a)$ знову буде спадати, тому що почнуть відфільтровуватися клітинки. Таким чином, для визначення розміру вікна, необхідно знайти точку, при якій функція $N(a)$ виходить на плато. Це буде означати, що шум вже відфільтрувався, а клітинки ще ні. Оскільки функція $N(a)$ є незростаючою (за побудовою!), то для знаходження цієї точки достатньо знаходити перший максимум похідної dN/da (рис. 19). Результати морфологічної фільтрації наведено на рис. 20, 21.

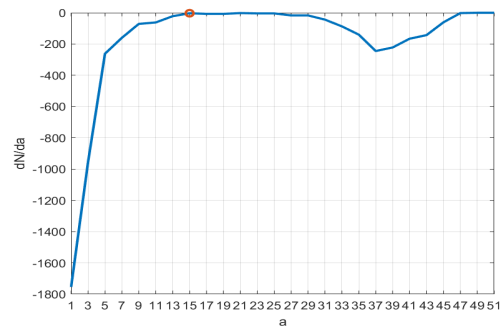
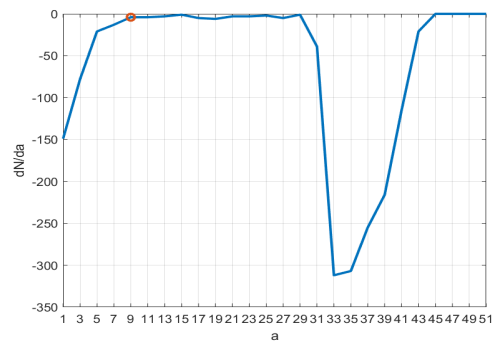


Рис. 19. Графіки похідної dN/da для кожної маски біт-контейнера, кружечком позначена точка першого максимуму: для 0 – нагорі; для 1 – внизу

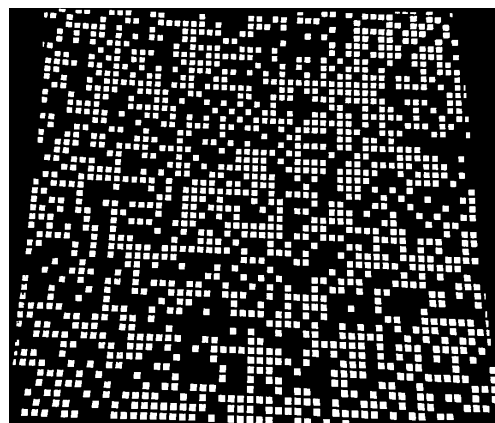


Рис. 20. Результат морфологічної фільтрації маски біт-контейнера (біт 0)

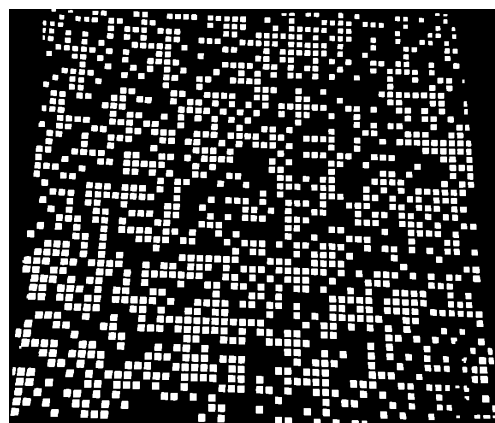


Рис. 21. Результат морфологічної фільтрації маски біт-контейнера (біт 1)

З урахуванням перспективних спотворень зображення описана поведінка функції $N(a)$ робиться менш визначеною, оскільки частина клітинок на дальній

частині зображення буде меншого розміру ніж шум на ближній частині, однак, як показали проведені експерименти, запропонований спосіб визначення оптимального розміру вікна фільтрації дає непогані результати – як буде показано далі для пропонуванних алгоритмів є менш критичним втрата певної кількості інформаційних клітинок, ніж наявність шумових областей. Морфологічна фільтрація ефективно усуває тільки ті області, що є меншими за розмір клітинки, для фільтрації областей, що є значно більшими за цей розмір необхідно використовувати інший метод. Якщо дрібні артефакти виникають через дефекти бінаризації, то природа цього шуму інша – це або завади, що закривають частину області контейнера, наприклад, рука або інший предмет, або частина клітинок, що «склеїлися» разом внаслідок нерівномірності освітлення. Для усунення такого шуму пропонується використовувати статистичну фільтрацію по розміру зв'язних областей – відфільтровуються всі області, площа яких більша за три стандартних відхилення від середнього значення. Для збільшення ефективності даний метод використовується ітеративно. Кількість ітерацій дорівнює 3. Результати статистичної фільтрації для кожної маски наведено на рис. 22, 23, результат об'єднання представлено на рис. 24.

Таким чином, вперше отримано метод виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, який на підставі бінаризації локальної дисперсії детектує область маркера на вихідному зображенні та знаходить маски біт-контейнерів шляхом сегментування та подальшої морфологічної фільтрації маскової області зображення.

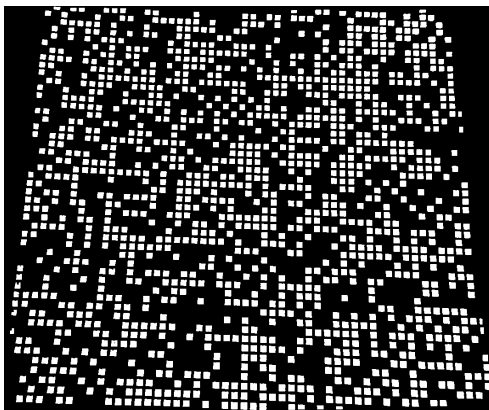


Рис. 22. Результат статистичної фільтрації маски біт-контейнера (біт 0)

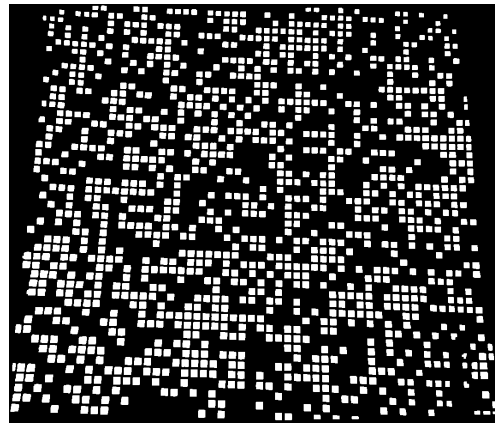


Рис. 23. Результат статистичної фільтрації маски біт-контейнера (біт 1)

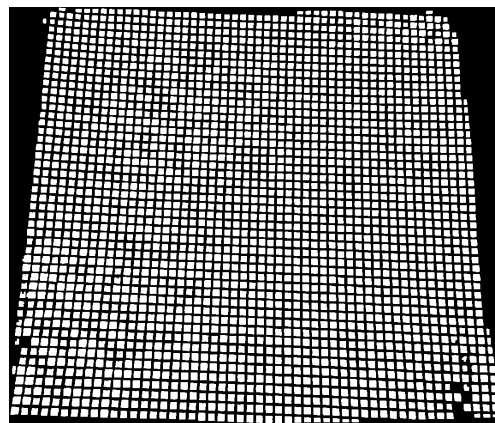


Рис. 24. Результат об'єднання масок

Висновки і напрямки подальших досліджень

Вперше отримано метод виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, який на підставі бінаризації локальної дисперсії детектує область маркера на вихідному зображенні та знаходить маски біт-контейнерів шляхом сегментування та подальшої морфологічної фільтрації маскової області зображення.

Напрямами подальших досліджень є такі:

- 1) розробка методу визначення параметрів проєктивного перетворення, що необхідно для вирівнювання зображення і визначення положення камери;
- 2) розробка методу декодування мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Goldman, S. Global Investment Research. 2019. URL: <https://www.goldmansachs.com/careers/divisions/global-investment-research/>.
2. Adobe Blog. The 10 VR Trends We'll See in 2018. URL: <https://theblog.adobe.com/10-vrtrends-well-see-2018/>.
3. Facebook Research. AR/VR-Facebook Research. 2019. URL: <https://research.fb.com/category/augmented-reality-virtual-reality>.
4. Siltanen S. Theory and doapplications of marker-based augmented reality. Siltanen, Espoo 2012. 198 p.
5. Lowe, David G. Object recognition from local scale-invariant features. Proc. of the Int. Conf. on Comp. 1999. P. 1150–1157.
6. Форсайт А.Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Форсайт А. Д., Понс Ж. // Компьютерное зрение. Современный подход. – 2004. – 928 с.
7. Hartley R., Multiple View Geometry in Computer Vision / Hartley R., Zisserman S. // Cambridge University Press New York, NY, USA – 2003. – 655 p.
8. Маковейчук О. М. Використання генетичних алгоритмів для знаходження інверсних псевдовипадкових блочних перестановок / О. М. Маковейчук, І. В. Рубан, Г. В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2019. – № 4 (56). – С. 72-81. – DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.4.072>

9. Маковейчук О. М. Новый тип маркерів доповненої реальності / О. М. Маковейчук // Сучасні інформаційні системи. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 43–48. – DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.06>

REFERENCE

1. Goldman, S. (2019), *Global Investment Research*, available at: <https://www.goldmansachs.com/careers/divisions/global-investment-research/>.
2. Adobe Blog. The 10 VR Trends We'll See in 2018 (2019), available at: <https://theblog.adobe.com/10-vrtrends-well-see-2018/>.
3. AR/VR-Facebook Research (2019), available at: <https://research.fb.com/category/augmented-reality-virtual-reality>.
4. Siltanen, S.(2012), *Theory and applications of marker-based augmented reality*, Espoo 2012, 198 p.
5. Lowe, David G. (1999), "Object recognition from local scale-invariant features", *Proceedings of the International Conference on Computer Vision 2*, pp. 1150–1157.
6. Forsyth A.D. and Pons J. (2004), *Computer vision. Modern Campaign*, 928 p.
7. Hartley, R. and Zisserman, S. (2003), *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University, NY, USA, 655 p.
8. Makoveychuk, O.M., Ruban, I.V. and Khudov G.V. (2019), "The Use of Genetic Algorithms for Finding Inverse Pseudo-Random Block Rearrangements", *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 4 (56), pp. 72-81, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.4.072>
9. Makoveychuk, O.M. (2019), "A new type of augmented reality tokens", *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No. 4, pp. 43–48, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.06>

Received (Надійшла) 30.09.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Маковейчук Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, докторант кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Oleksandr Makoveichuk – Candidate of Technical Sciences, doctoral student of Electronic Computers Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: omakoveychuk@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4425-016X>

Метод выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности

А. Н. Маковейчук

Аннотация. Предметом изучения в статье является метод выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. Целью является разработка метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. Задачи: анализ существующих маркеров дополненной реальности, разработка метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности, практическая проверка работы метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. Используемыми методами являются: методы цифровой обработки изображений, теории вероятности, математической статистики, криптографии и защиты информации, математический аппарат теории матриц. Получены следующие результаты. Определены достоинства и недостатки основных существующих типов маркеров дополненной реальности. Приведена структурная схема метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. Рассмотрены этапы метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. Проведенные экспериментальные исследования по выявлению мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. Выводы. Впервые получен метод выявления мозаичного стохастического маркера дополненной реальности, который на основании бинаризации локальной дисперсии детектирует область маркера на исходном изображении и находит маски бит-контейнеров путем сегментирования и последующей морфологической фильтрации маскированной области изображения. Направлениями дальнейших исследований является разработка метода определения параметров проективного преобразования, которое необходимо для выравнивания изображения и определения положения камеры; разработка метода декодирования мозаичного стохастического маркера дополненной реальности.

Ключевые слова: мозаичный стохастический маркер; код; дополненная реальность; изображение-контейнер; сегментация; изображения; морфологическая фильтрация.

A method for identifying mosaic stochastic augmented reality markers

O. Makoveychuk

Abstract. The subject matter of the article is a method for identifying mosaic stochastic markers of augmented reality. The goal is to develop a method for identifying mosaic stochastic augmented reality markers. The tasks are: analysis of existing augmented reality markers, development of a method for identifying mosaic stochastic augmented reality markers, practical testing of the method for identifying mosaic stochastic augmented reality markers. The methods used are: methods of digital image processing, probability theory, mathematical statistics, cryptography and information protection, the mathematical apparatus of matrix theory. The following results are obtained. The advantages and disadvantages of the main existing types of markers of augmented reality are determined. The block diagram of the method for identifying mosaic stochastic markers of augmented reality is given. The stages of the method for identifying mosaic stochastic markers of augmented reality are considered. Conducted experimental studies to identify mosaic stochastic markers of augmented reality. **Conclusions.** For the first time, a method for identifying a mosaic stochastic augmented reality marker has been obtained, which, based on the binarization of local dispersion, detects the marker region in the original image and finds bit-container masks by segmenting and subsequent morphological filtering of the masked image region. The directions of further research are the development of a method for determining the parameters of projective transformation, which is necessary to align the image and determine the position of the camera; development of a decoding method for a mosaic stochastic marker of augmented reality.

Keywords: mosaic stochastic marker; code; augmented reality; image container; segmentation; images; morphological filtering.